

TENSIONES DE CRECIMIENTO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus dunnii* IMPLANTADO EN ARGENTINA

GROWTH STRESSES AND PHYSICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus dunnii* WOOD IN ARGENTINA

Mariano Hernández^{1,*}, Constantino Zaderenko², Silvia Monteoliva^{3,4}

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii* y determinar el efecto de las propiedades físicas de la madera sobre esta variable. Se muestrearon 45 árboles de un ensayo de 19 años situado en la provincia de Corrientes, Argentina. Se realizaron determinaciones de tensiones de crecimiento a través de dos métodos: indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*, CIRAD-Forêt) e índice de rajado en rollizo (*IR*). Se midieron las propiedades físicas, densidad básica y contracción volumétrica total y se determinó la variación radial de la densidad básica. Los resultados de *GSI* e *IR* mostraron valores más bajos que los citados para la especie (*GSI*: 0,0763 - 0,0251 mm e *IR*: 0,43 - 0,31 %) y tuvieron buena asociación entre sí (r : 0,71). Se encontró una asociación baja entre tensiones de crecimiento con las propiedades físicas de la madera, densidad básica (r : 0,35 - 0,39) y contracción volumétrica total (r : 0,29 - 0,35). Los niveles de asociación aumentaron cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica (r : 0,59 - 0,52).

Palabras clave: Densidad básica, contracción volumétrica, *GSI*, índice de rajado, gradiente densidad.

ABSTRACT

To evaluate growth stresses in *Eucalyptus dunnii* and determine the effect of physical wood properties on that variable, a total of 45 trees were sampled from a 19-years-old trial located at Corrientes, Argentina. Growth stresses were determined using the growth stress indicator (*GSI*, CIRAD-Forêt) and the log end split index (*IR*). The physical wood properties basic density and total volumetric shrinkage were measured and the pith-to-bark gradient of the basic density was determined. *GSI* and *IR* values obtained were lower than those cited for the species (*GSI*: 0,0763 - 0,0251 mm and *IR*: 0,43 - 0,31 %) and showed good association between themselves (r : 0,71). A low association between growth stresses and the physical wood properties basic density (r : 0,35 - 0,39) and volumetric shrinkage total (r : 0,29-0,35) was founded. The association levels were higher when growth stresses (*GSI* and *IR*) and the pith-to-bark gradient of the basic density (r : 0,59-0,52) were correlated.

Keywords: Basic density, volumetric shrinkage, *GSI*, split index, pith-to-bark gradient.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Ruta 27 - Km 38,3 (3432), Bella Vista, Corrientes, Argentina.

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Calle Bertoni 124 (3382) Eldorado, Misiones, Argentina. zaderenko@facfor.unam.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119. CC 31 (1900) La Plata, Argentina. smonteoliva@yahoo.com.ar.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

*Autor para correspondencia: mahernandez@correo.inta.gov.ar

Recibido: 16.04.2013 Aceptado: 13.11.2013

INTRODUCCIÓN

La especie *Eucalyptus dunnii* fue introducida en Argentina a finales de 1970. Se establecieron pequeñas áreas en las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Entre Ríos y Misiones (Marcó y White 2002). La superficie plantada disminuyó en relación a años anteriores y rondaría las 5000 ha según información brindada por el Centro de Investigaciones Forestales (CIEF) y el Consorcio Forestal del Río Uruguay (comunicación personal). El uso principal de la especie a nivel mundial es como materia prima para la industria de pulpa y papel (Maradei 1997). En la industria de transformación mecánica se utiliza en la elaboración de pisos, fabricación de piezas estructurales en la construcción o en la elaboración de chapas para tableros compensados, entre otros (Dickson *et al.* 2003, Pereyra 2000). Como la mayoría de las especies de eucaliptos, la especie sufre de tensiones de crecimiento que causan problemas y pérdidas financieras en el proceso de aserrado (Murphy *et al.* 2005, Souza 2006). El término tensiones de crecimiento designa a las fuerzas internas presentes en el leño de los árboles en pie (Gérard 1994). Cuando el árbol es apeado, se produce la liberación de estas fuerzas. Esto determina que se produzcan rajaduras en el leño que dan como consecuencia el estrellado observable en las caras transversales del rollizo (Gérard 1992). La liberación de tensiones se sigue manifestando durante la transformación mecánica, con deformaciones y rajaduras de cabeza en las tablas (Touza-Vázquez 2001). El género *Eucalyptus* puede presentar elevados valores de tensiones de crecimiento (Kubler 1987).

Los métodos más utilizados y precisos en la determinación de tensiones de crecimiento son aquellos que miden la deformación longitudinal del material por debajo del límite de elasticidad en árboles en pie (y en algunos casos en árboles abatidos) con diferentes tipos de instrumentos, conforme a la ley de Hooke. Con los valores obtenidos de la periferia del árbol es posible, con modelos matemáticos, estimar las tensiones de crecimiento en cualquier punto del radio (Thibaut y Gril 2003, Raymond *et al.* 2004).

Otra forma de cuantificar las tensiones de crecimiento es a través de mediciones indirectas de sus efectos en rollizos o piezas aserradas. Para ponderar los efectos de las tensiones de crecimiento en rollizos se mide el largo y a veces el ancho de las rajaduras que forman el estrellado característico de las caras transversales para calcular un índice de rajado (Baillères 1994).

Las variaciones en los niveles de tensiones de crecimiento se encuentran asociados a la variación en la estructura de la madera. Aquellos fenómenos que acentúen la variación en la madera (presencia de leño de reacción y transición de leño juvenil a adulto) tendrán influencia sobre los valores de tensiones de crecimiento (Gérard *et al.* 1995). Existen estudios previos que se enfocaron sobre las relaciones entre las tensiones de crecimiento y las propiedades físicas de la madera. En este sentido la mayoría de las investigaciones fueron desarrolladas en latifoliadas, principalmente en el género *Eucalyptus*, con resultados en algunos casos contradictorios. Malan (2008) no encontró asociación entre un índice de rajado con la densidad básica y una medida de la variación radial de la densidad básica para clones de *E. grandis*. Nicholson *et al.* (1972) encontraron cierta asociación no cuantificada estadísticamente entre las mediciones de las tensiones de crecimiento con la densidad básica y la contracción volumétrica al 12 % en un árbol de *E. regnans*. Baillères (1994) encontró asociación entre la contracción y los valores de tensiones de crecimiento.

El objetivo del trabajo fue evaluar tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii* mediante dos métodos y determinar su asociación con las propiedades físicas de la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio

Se muestreó un ensayo de *Eucalyptus dunnii* Maiden de 19 años situado en la localidad de Bella Vista, Provincia de Corrientes, Argentina. Su ubicación geográfica exacta corresponde a las coordenadas 28° 26' 23,7" S 58° 59' 47,7" O a una altitud de 65 m.s.n.m. Fue plantado en el año 1992 en un albardón cercano al río Paraná, en suelos arenosos profundos, en un sitio en los que no existen evidencias de perturbaciones de origen antrópico importantes anteriores a su establecimiento. El clima de la región es húmedo y mesotermal, correspondiendo a la clasificación de Thornthwite $C_2 B_4 ra'$, con 1218 mm de precipitación media anual 20,9 °C de temperatura media anual (26 °C de temperatura máxima y 15,7 °C de mínima anual) y 328 días como periodo libre de heladas. El ensayo fue plantado en un diseño de bloques completos al azar con 15 repeticiones conformado por parcelas de una sola planta con un distanciamiento de 3 x 3 m. No se realizaron intervenciones silvícolas en el ensayo. El material muestreado forma parte de una red de ensayos de procedencias y familias distribuidos en distintos sitios de la mesopotamia argentina. Se seleccionaron 3 procedencias dentro del ensayo y se muestrearon 15 árboles dominantes y codominantes de cada una. El material se utilizó como un mismo conjunto (n=45) luego de probar a través de un análisis de la varianza que no existían diferencias entre procedencias para las variables del estudio ($p>0,05$). La tabla 1 muestra información sobre los árboles que conformaron la muestra.

Tabla 1. Procedencias y número de familias muestreadas.

| Procedencia | Número de familias* | Localización (latitud, longitud y altitud) |
|--------------------|---------------------|--|
| <i>Death Horse</i> | 8 familias (1 - 4) | 28 ° 25 ' S 152 ° 20 ' E 650 m.s.n.m |
| <i>Boomi Creek</i> | 5 familias (2 - 4) | 28 ° 25 ' S 152 ° 41 ' E 300 m.s.n.m |
| <i>Oaky Creek</i> | 5 familias (1 - 5) | 28 ° 36 ' S 152 ° 31 ' E 520 m.s.n.m |

*Entre paréntesis se indica el número mínimo y máximo de árboles que conformaban una misma familia

Para cada árbol se midió con forcípula e hipsómetro el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Los estimadores estadísticos media y desviación típica para el diámetro a la altura del pecho y la altura total fueron 27 (+/- 2,7) cm y 27,6 (+/- 2,4) m respectivamente.

Variables de interés y secuencia de actividades

Sobre el material de estudio se realizaron determinaciones de tensiones de crecimiento a través de dos métodos: indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*, CIRAD-Forêt) e índice de rajado en rollizo (*IR*). Se midieron las propiedades físicas densidad básica (*Db*), contracción volumétrica total ($C_{max, vol}$) y se determinó una medida de la variación radial de la densidad básica (β). Para obtener los valores de las variables de interés se siguió la siguiente secuencia de actividades. Se marcó con aerosol la corteza de cada uno de los árboles a muestrear por la orientación cardinal Norte e inmediatamente se obtuvieron y registraron los valores *GSI* en árboles en pie a 1,3 m de altura. A continuación se apearon los árboles con motosierra y se obtuvieron dos rodajas sucesivas en el fuste de 5 cm de espesor a 1,3 m de altura y un rollizo de 2 metros de longitud de la sección del fuste inmediata superior a las rodajas. El rollizo se preparó para la medición del índice de rajado y las rodajas se conservaron para la determinación de propiedades físicas en laboratorio. Transcurridos cinco días se obtuvieron en campo las fotografías de las caras transversales de los rollizos con estrellado característico para la determinación de índice de rajado en gabinete.

Determinación del indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*)

Se aplicó el método CIRAD-Forêt (Yang et al. 2005) (Figura 1) para la determinación de los valores *GSI*. En árboles en pie se abrió una ventana rectangular sobre la corteza de 2,5 cm de ancho por 9 cm de alto la cual dejó expuesta la superficie del cambium. Esta ventana consiste en una modificación introducida por López y Genes

(2005) en el tamaño estándar de la ventana determinado por el método. Luego se colocó el extensómetro con los clavos separados por una distancia de 45 mm, se realizó la perforación con un taladro manual y se registró el valor de desplazamiento de los clavos en mm. Las mediciones se realizaron a una altura de 1,3 m. en las posiciones cardinales Norte, Este, Sur y Oeste. Con los valores de desplazamiento obtenidos para las cuatro posiciones cardinales se calculó un valor *GSI* promedio por árbol.

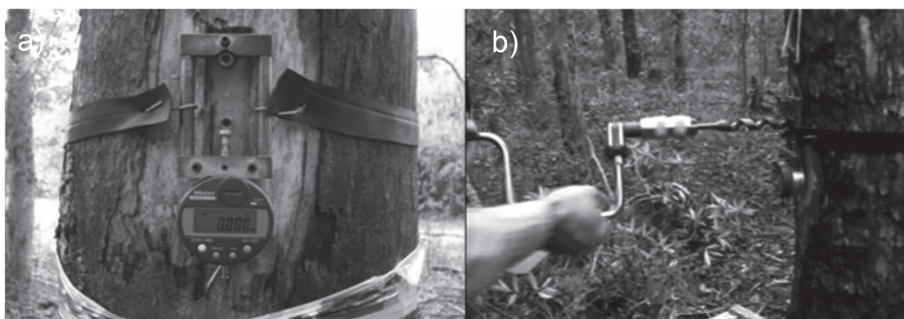


Figura 1. Instrumental para la determinación de los valores *GSI* con el método *CIRAD-Forêt* en árboles en pie.

Determinación del índice de rajado en rollizo

Se apearon los árboles y se cortó un rollizo de 2 m de longitud por encima de los 1,3 m. Inmediatamente abatidos los árboles se colocaron bolsas plásticas sobre los extremos de los rollizos. Los rollizos permanecieron en el interior del monte con los extremos cubiertos durante cinco días de invierno cuya temperatura promedio fue de 21 °C y en los que no se registraron precipitaciones. Al quinto día se quitaron las bolsas y se sacó una fotografía digital de cada una de las dos caras transversales de los rollizos junto a la escala de una forcípula (Figura 2).

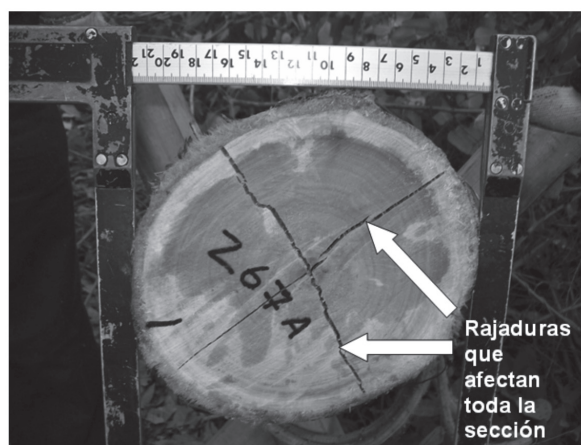


Figura 2. Cara transversal de un rollizo con estrellado característico. Imagen tomada a los 5 días de apeado el árbol.

Las fotografías de las caras transversales de los rollizos fueron analizadas en gabinete con el software de medición *Micrometrics SE Premium*. En cada fotografía se tomaron las mediciones necesarias para poder calcular un índice de rajado para cada rollizo según la ecuación 1:

$$IR = 200 \frac{\sum_{i=1}^n a_i L_i}{\pi D^2} \quad (1)$$

Donde:

IR : Índice de rajado para los extremos del rollizo (%)

a_i : Abertura máxima de la i -ésima rajadura (mm)

L_i : Longitud de la i -ésima rajadura (mm)

D : Diámetro sin corteza medio de la sección transversal del rollizo considerado (mm)

Determinación de la densidad básica

La determinación de la densidad básica se realizó con el material correspondiente a la rodaja inferior de cada uno de los árboles muestreados. De cada rodaja se obtuvieron dos cuñas de madera que cubrían toda la sección del radio (de médula a corteza), una para la orientación cardinal Norte y otra para la orientación cardinal Sur. Cada cuña fue subdividida en probetas de igual longitud. Cada probeta fue lijada con una lijadora de banda e identificada, según su posición radial, en: Probetas inmediatas a la médula (P_1), probetas que ocupaban una posición intermedia en el radio (P_2) y probetas cercanas a la corteza (P_3). La figura 3 muestra el tipo de probetas con la que se trabajó y la identificación según posición.

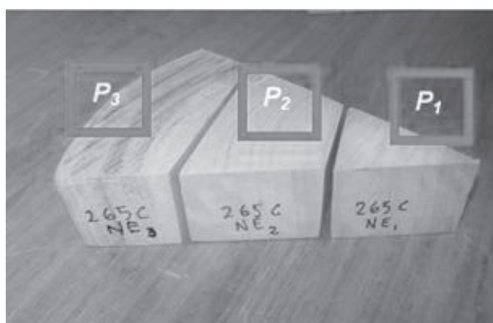


Figura 3. Probetas para determinar densidad básica.

Para determinar la densidad básica se siguió la norma TAPPI T 258 sobre un total de 270 probetas para 45 árboles.

Para cada árbol se determinó la densidad básica promedio con la siguiente ecuación:

$$Db_j = \frac{MS_j}{Vv_j} \quad (2)$$

Donde:

Db_j : Densidad básica (kg/m^3) promedio del árbol j

MS_j : Suma de la masa anhidra (kg) de las tres probetas obtenidas en el árbol j

Vv_j : Suma del volumen verde (m^3) de las tres probetas obtenidas en el árbol j

Se determinó para cada árbol la pendiente de la función que representa la tasa de cambio radial de la densidad básica. Esta tasa indica la magnitud del cambio de la densidad básica en el sentido de la médula hacia la corteza. Se definió a partir de los valores promedios de densidad básica de las probetas de las posiciones cardinales Norte y Sur correspondientes a las posiciones inmediatas a la médula (P_1) y cercanas a la corteza (P_3). La ecuación 3 muestra la relación utilizada para calcular la tasa de cambio de la densidad básica a lo largo del radio.

$$Tga = \frac{Db_{P_3} - Db_{P_1}}{k} = \beta_j \quad (3)$$

Donde:

Tga : Función tangente del ángulo α

Db_{P_3} : Promedio de la densidad básica (kg/m^3) de las posiciones cardinales Norte y Sur para las probetas P_3 del árbol j

Db_{P_1} : Promedio de la densidad básica (kg/m^3) de las posiciones cardinales Norte y Sur para las probetas P_1 del árbol j

k : Constante igual a la razón de la distancia (m/m) entre la médula y el centro de las probetas P_3 y P_1

β_j : Tasa de cambio radial de la densidad básica (kg/m^3) para el árbol j

Determinación de los valores de contracción

Para la determinación de la contracción volumétrica máxima se utilizó el material correspondiente a la rodaja superior de cada árbol muestreado. Con este material se cortaron 180 probetas de $2 \times 2 \times 5$ cm en sentido tangencial y radial siguiendo la norma IRAM 9543. Las probetas se obtuvieron de la región de la albura para las orientaciones cardinales Norte y Sur. Las probetas se midieron con calibre micrométrico con precisión de 0,01 mm. Se determinó la contracción lineal máxima tangencial ($Cmax_{TG}$), la contracción lineal máxima radial ($Cmax_{RD}$). La contracción en dirección axial ($Cmax_{AX}$) se consideró despreciable. Se calculó el coeficiente de anisotropía (T/R). La contracción volumétrica ($Cmax_{VOL}$) se determinó con la ecuación 4.

$$Cmax_{VOL} = 1 - (1 - Cmax_{RD}) (1 - Cmax_{TG}) (1 - Cmax_{AX}) \quad (4)$$

Análisis estadístico de datos

Se calcularon los estadísticos descriptivos media, desviación típica, coeficiente de variación, máximo y mínimo para las variables IR , GSI , Db , β_j , P_n (densidad básica en las posiciones radiales P_1 , P_2 y P_3), $Cmax_{TG}$, $Cmax_{RD}$, $Cmax_{VOL}$ y T/R (tabla 2). Se obtuvo una matriz de correlaciones de Pearson a fin de obtener una medida de asociación que no dependiera de las unidades de medida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de *GSI* e *IR* mostraron la variabilidad característica que se presenta con las tensiones de crecimiento (Murphy *et al.* 2005). En cuanto a la magnitud que alcanzaron los valores, para *GSI* el promedio fue de 0,076 mm ($\pm 0,025$) con un coeficiente de variación (CV) de 32,9 % y para *IR* el promedio fue de 0,43 % ($\pm 0,31$) con un CV muy alto de 72,1 %. El histograma de la figura 4 muestra que la mayor parte de los datos de *GSI* se ubica por encima de 0,040 mm hasta los 0,098 mm y que las frecuencias de árboles que presentaron valores superiores a 0,100 mm se encuentran poco representadas. El histograma de la figura 5 muestra para el *IR* que la mayor parte de los árboles presentaron valores entre 0,14 % y 0,88 %.

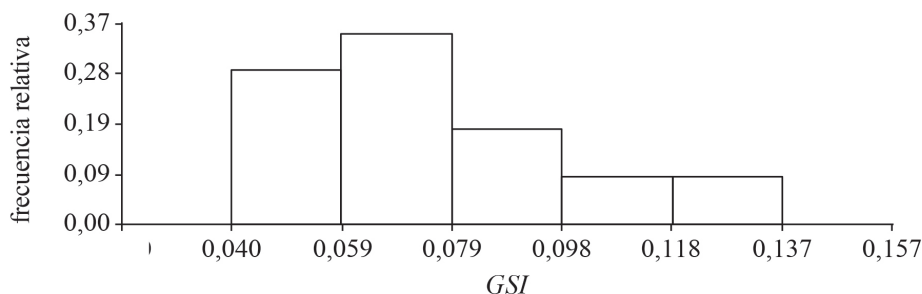


Figura 4. Histograma del indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*) para los 45 árboles muestreados.

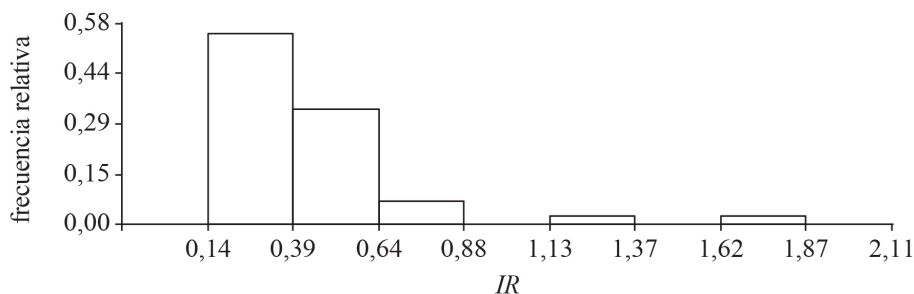


Figura 5. Histograma del índice de rajado (*IR*) para los 45 árboles muestreados.

En comparación a otros trabajos realizados en el género *Eucalyptus*, los valores medios de tensiones de crecimiento fueron inferiores a los encontrados en la literatura. Para *GSI* en 20 árboles de *E. dunnii* de 14 años en el estado de Santa Catarina, Brasil, se registró un promedio de 0,14 mm con un CV de 27 % (Souza 2006). Otro estudio realizado en la misma región mostró en 16 árboles de esta misma especie de 19 años un promedio de 0,12 mm con un CV de 36 % (Trugilho y Olivera 2008). Los únicos resultados de *GSI* hallados para la especie en estudio que son similares a los hallados en nuestro trabajo fueron los reportados por Murphy *et al.* (2005), con valores de 370–1560 μm . Este autor midió las tensiones en 164 árboles de *E. dunnii* de 9 años mediante un método diferente al de CIRAD-Forêt (método de Nicholson), sin embargo es posible transformar nuestros resultados para llevar las unidades de medida del método CIRAD-Forêt a las unidades del método de Nicholson.

Los valores medios de IR fueron inferiores a los que se registraron en la especie *E. grandis* en condiciones experimentales similares. En estudios realizados con el mismo índice de rajado utilizado en este trabajo se encontró que para plantaciones de 21 años de edad en rollizos de 3 metros de longitud obtenidos a partir del 1,7 m de altura, los valores promedio de IR variaron entre 0,67 % y 0,87 % según el tratamiento silvicultural aplicado (Lima 2005). En cuanto a la variación del IR , los valores medios se comportaron en forma similar a los estudios existentes, como el llevado a cabo por Malan (1988), que obtuvo un CV de 88 % en una investigación que involucró la evaluación de 121 árboles de *E. grandis* de 20 años implantados en Sudáfrica.

La diferencia entre los valores reportados en la bibliografía y los encontrados en este trabajo puede atribuirse a diferencias en las estrategias de muestreo, de procesamiento, y a las diferencias intrínsecas propias del material estudiado (madera de reacción, nudos, edad de los ejemplares, silvicultura, genética).

La tabla 2 presenta la estadística descriptiva del indicador de tensiones de crecimiento (GSI), el índice de rajado en rollizo (IR), la densidad básica promedio (Db), la densidad básica en las diferentes posiciones radiales (P_n), la tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j), la contracción lineal máxima tangencial ($Cmax_{TG}$), radial ($Cmax_{RD}$), contracción volumétrica ($Cmax_{VOL}$) y el coeficiente de anisotropía (T/R).

Tabla 2. Valores de tensiones de crecimiento y propiedades físicas.

| | Media | Desviación típica | Coeficiente de variación | Mínimo | Máximo |
|--------------------------------|-------|-------------------|--------------------------|--------|--------|
| GSI (mm) | 0,076 | 0,025 | 32,9 | 0,039 | 0,138 |
| IR (%) | 0,43 | 0,31 | 72,1 | 0,14 | 1,86 |
| P_1 (kg/m ³) | 476 | 30,8 | 6,5 | 418 | 573 |
| P_2 (kg/m ³) | 537 | 33,2 | 6,2 | 470 | 632 |
| P_3 (kg/m ³) | 607 | 32,8 | 5,4 | 540 | 677 |
| Db (kg/m ³) | 567 | 28,7 | 5,1 | 508 | 643 |
| β_j (kg/m ³) | 131 | 38,9 | 29,7 | 34 | 234 |
| $Cmax_{TG}$ (%) | 12,8 | 1,60 | 12,5 | 7,86 | 17,16 |
| $Cmax_{RD}$ (%) | 7,0 | 0,91 | 13,0 | 4,75 | 8,88 |
| $Cmax_{VOL}$ (%) | 18,9 | 1,89 | 10,0 | 15,11 | 24,49 |
| T/R | 1,83 | 0,27 | 14,8 | 1,00 | 2,41 |

Para la densidad en las diferentes posiciones radiales (P_n) y para la densidad básica promedio la dispersión de los resultados fue muy baja pero para la tasa radial de la densidad básica el CV indica alta dispersión de los datos. Esto implica que existe suficiente variabilidad para encontrar árboles con cambios ligeros de la densidad básica en dirección radial (valores bajos de β_j). La tabla 2 muestra que la dispersión fue baja para todas las variables de contracción.

El análisis de correlación de la tabla 3 muestra la asociación encontrada entre las propiedades físicas de la madera y las tensiones de crecimiento estimadas en árboles en pie y en rollizo.

Tabla 3. Matriz de correlaciones de Pearson/probabilidad.

| | P_3 | Db | β_j | $Cmax_{TG}$ | $Cmax_{RD}$ | $Cmax_{VOL}$ | T/R | GSI | IR |
|--------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| P_3 | 1 | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p = 0,28$ | $p = 0,04$ | $p = 0,08$ | $p = 0,36$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ |
| Db | 0,62** | 1 | $p = 0,01$ | $p = 0,43$ | $p = 0,05$ | $p = 0,15$ | $p = 0,3$ | $p = 0,02$ | $p = 0,01$ |
| β_j | 0,52** | 0,38** | 1 | $p = 0,58$ | $p = 0,16$ | $p = 0,30$ | $p = 0,48$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ |
| $Cmax_{TG}$ | 0,17 | 0,12 | 0,08 | 1 | $p = 0,03$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p = 0,11$ | $p = 0,06$ |
| $Cmax_{RD}$ | 0,31* | 0,29 | 0,22 | 0,32* | 1 | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p = 0,13$ | $p = 0,04$ |
| $Cmax_{VOL}$ | 0,26 | 0,22 | 0,16 | 0,91** | 0,68** | 1 | $p = 0,52$ | $p = 0,06$ | $p = 0,02$ |
| T/R | -0,14 | -0,16 | -0,11 | 0,50** | -0,65** | 0,10 | 1 | $p = 0,99$ | $p = 0,71$ |
| GSI | 0,40** | 0,35* | 0,59** | 0,24 | 0,23 | 0,29 | -0,001 | 1 | $p < 0,001$ |
| IR | 0,42** | 0,39** | 0,52** | 0,28 | 0,31* | 0,35* | -0,06 | 0,71** | 1 |

Correlación significativa al 0,05; ** Correlación significativa al 0,01

Los resultados de la asociación del método *CIRAD-Forêt* (GSI) y la magnitud con la que se manifiesta el estrellado en las caras transversales de los rollizos (IR) una vez apeados los árboles fue muy buena ($r = 0,71^{**}$) y confirma que el método *CIRAD-Forêt* puede utilizarse como método no destructivo para seleccionar árboles con bajas tensiones de crecimiento. La explicación de este resultado se basa en que el extensómetro *CIRAD-Forêt* es un buen indicador del índice de rajado cuando los diámetros de los árboles son similares (Baillères 1994).

Los valores de correlación muestran que hay evidencias de una asociación positiva débil entre las tensiones de crecimiento y la densidad básica promedio por árbol. Los niveles de asociación aumentaron considerablemente cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica. Los coeficientes de correlación fueron positivos y moderados en este caso ($r = 0,59^{**}$ y $0,52^{**}$) y no explicaron por sí solos la variación en los niveles de tensiones de crecimiento. Sin embargo, estos resultados apoyan el concepto expresado por Gérard *et al.* (1995) de que variaciones en los niveles de tensiones de crecimiento se encuentran asociados a la variación en la estructura de la madera en dirección radial. Malan (2008) no encontró correlaciones significativas entre densidad básica y gradiente de densidad con el IR en clones de *E. grandis* a los 20 años. Los resultados difieren de los encontrados por Nicholson *et al.* (1972), pero debería considerarse que este autor no cuantificó estadísticamente la asociación entre las tensiones de crecimiento con las propiedades físicas de la madera y su estudio lo hizo en un solo árbol de *E. regnans*. La tabla 3 muestra que los valores de asociación de la densidad básica obtenidos de las probetas P_3 cercanas a la corteza con el GSI y el IR fueron ligeramente mayores a los valores de asociación encontrados entre las tensiones de crecimiento con la densidad básica promedio por árbol. Para la densidad en otras posiciones radiales (variables no incluidos en la tabla) no se encontró asociación estadística significativa entre el GSI y el IR con la densidad básica de las probetas P_1 ($r = 0,06$ y $r = 0,01$) y tampoco con las probetas P_2 ($r = 0,23$ y $r = 0,21$).

Las tensiones de crecimiento presentaron valores bajos de correlación con la contracción tangencial, radial y volumétrica total ($r = 0,35^*$ para $Cmax_{vol}$ e IR). El coeficiente de anisotropía no mostró asociación con las tensiones de crecimiento. Este resultado se diferencia de la alta asociación encontrada en una investigación previa ($r = 0,92$) entre las tensiones de crecimiento estimadas mediante el método de Nicholson y la contracción tangencial de láminas de madera en clones de eucaliptos (Baillères, 1994). El mismo autor expresa que la relación entre las deformaciones en la superficie del cambium y la contracción no tiene una explicación sencilla y probablemente dependa de la población muestral y del procedimiento de medición.

Se está trabajando en la determinación de las propiedades anatómicas (morfometría y madera de reacción) para establecer posibles explicaciones a la variabilidad y magnitudes halladas en las tensiones de crecimiento.

CONCLUSIONES

1) Las tensiones de crecimiento, estimadas a través del método *CIRAD-Forêt* y de un índice de rajado, presentaron valores más bajos que los citados en la bibliografía para la especie y mostraron alta variabilidad.

2) Se encontró una asociación baja entre las tensiones de crecimiento y las propiedades físicas de la madera (densidad básica y contracción volumétrica total). Los niveles de asociación aumentaron considerablemente cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica.

3) El método *CIRAD-Forêt* puede utilizarse como método no destructivo para seleccionar árboles con bajas tensiones de crecimiento.

Es necesario integrar estos resultados con la calidad de las tablas y rollizos resultantes del aprovechamiento industrial en esta especie.

AGRADECIMIENTOS

A los profesionales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina, ingenieros Juan López (h), Yolanda Genes y Sara Cáceres. Al personal técnico y de apoyo de la institución, José Ruiz Díaz, Juan A. Sánchez, Cristian y Raúl Almirón, Gustavo Benítez, Leticia Ruiz, Carlo Lezcana y Jorge Romero.

BIBLIOGRAFÍA

- Baillères, H. 1994.** Précontraintes de croissance et propriétés mécano-physiques de clones d'*Eucalyptus* (Pointe Noire, Congo): hétérogénéités, corrélations et interprétations histologiques. Thèse (docteur)-L' Université de Bordeaux I, 163p.
- Dickson, R. L.; Raymond, C. A.; Joe, W.; Wilkinson, C. A. 2003.** Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. *Forest Ecology and Management* 179: 243-251.
- Gérard, J. 1992.** En Thibaut B. (Eds), Actes des séminaires annuels du programme Architecture, structure, mécanique de l'arbre. Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, Paris 1er décembre 1992: 31p.
- Gérard, J.; Baillères, H.; Fournier, M.; Thibaut, B. 1995.** Qualité du bois chez les *Eucalyptus* de plantation. *Bois et Forêts des Tropiques* 245: 101-117.
- Gérard, J. 1994.** Contraintes de croissance, variations internes de densité et de module d'élasticité longitudinal, et déformations de sciage chez les *Eucalyptus* de plantation. Thèse (docteur)-L' Université de Bordeaux I, 160p.
- Instituto Argentino de Normalización, IRAM. 1966.** Maderas. Método de determinación de las contracciones totales, axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. Norma IRAM 9543. Buenos Aires, Argentina.
- Kubler, H. 1987.** Growth stresses in trees and related wood properties. *Forestry Abstracts* 48 (3): 131-189.
- Lima, I.L. 2005.** Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Tesis Doctoral. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, 157p.
- López, J. A.; Genes, P.Y. 2005.** Ajuste y validación de un método no destructivo para seleccionar genotipos de *Eucalyptus grandis* con bajo nivel de tensiones de crecimiento. Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Corrientes, Argentina, 11p.
- Malan, F.S. 1988.** Relationships between growth stress and some tree characteristics in South African grown *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal* 144: 43-46.
- Malan, F.S. 2008.** Clonal differences in log end splitting in *Eucalyptus grandis* in relation to age, parent performance, growth rate and wood density in two even-aged trials in Mpumalanga, South Africa. *Southern Forests* 70 (1): 37-43.
- Maradei, D. 1997.** *Eucalyptus dunnii* un nuevo recurso forestal para la industria. *SAGPyA Forestal* 4: 7-11.
- Marcó, M.A.; White, T.L. 2002.** Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii* in Argentina. *Forest Genetics* 9 (3): 205-215.
- Murphy, T.; Henson, M.; Vanclay, J. K. 2005.** Growth stress in *Eucalyptus dunnii*. *Australian Forestry* 68 (2): 144-149.
- Nicholson, J.E.; Campbell, G.S.; Bland, D.E. 1972.** Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study. *Wood Science* 2 (5): 109-112.
- Pereyra, O. 2000.** Evaluación de la madera de *Eucalyptus dunnii* (Maid) en la producción de láminas. *Xytraretá* 10:15-20.

Raymond, C.A.; Kube, P.D.; Pinkard, L.; Savage, L.; Bradley, A.D. 2004. Evaluation of non-destructive methods of measuring growth stress in *Eucalyptus globulus*: relationships between strain, wood properties and stress. *Forest Ecology and Management* 190: 187-200.

Souza, M. A. M. 2006. Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden. Tesis Doctoral. Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 90p.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI. 1994. Basic density and moisture content of pulpwood. TAPPI standard T 258 om-94. TAPPI Press. Atlanta, United States.

Thibaut, B.; Gril, J. 2003. Growth stresses. En: J.R. Barnet y G. Jeronimidis (Eds), *Wood quality and its biological basis*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK: 137-156.

Touza-Vázquez, M. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas. Ciencia y tecnología* 3 (1-2):68-89.

Trugilho, P.F.; Olivera, J.T.S. 2008. Relações e estimativas da tensão de crescimento longitudinal em *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Revista Árvore* 32 (4): 723-729.

Yang, J.L.; Baillères, H.; Okuyama, T.; Muneri, A.; Downes, G. 2005. Measurement methods for longitudinal surface strain in trees: a review. *Australian Forestry* 68 (1): 34-43.